数理モデル化と問題解決　29－6
（2000．5．12）

分散GAにおける解探索メカニズム

金子 美華 *，三木 光範 **，廣安 知之 **
* 同志社大学大学院　** 同志社大学工学部

分散遺伝的アルゴリズム（DGA）では単一母集団のGAと比較して高品質の解が得られる．本研究ではその理由について考える．変数間の依存関係と局所解の有無に着目した異なるタイプの問題でDGAと単一母集団のGAの性能を比較したところ，DGAが依存関係のない問題に対して有効であった．これより，DGAのメカニズムとしてサブ母集団毎に生成されたビルディングブロックが移住と交叉によって他のサブ母集団のビルディングブロックと結合し最適解が求められるプロセスを考え，実験によりこのことを明らかにした．

Search Mechanism of Parallel Distributed Genetic Algorithms

Mika KANEKO *, Mitsunori MIKI **, and Tomoyuki HIROYASU **
* Graduate School of Doshisha University　** Doshisha University

It is well known that distributed genetic algorithms (DGAs) outperform canonical GAs (CGAs). This paper considers the reason of their high performance. We focus on the dependency among variables and the local optima of optimum problems, and compare DGAs with CGAs with some test functions. The experimental result shows that the migration of a building block of an optimum solution among subpopulations in DGAs plays an important role for providing good solutions. That is, the optimum solutions are formed by the crossover of individuals of different subpopulations.

1 はじめに

分散遺伝的アルゴリズム（DGA:Distributed Genetic Algorithms）は，母集団を複数のサブ母集団に分け，そのサブ母集団毎に遺伝的操作を行い，一定期間毎に異なるサブ母集団間で移住を行う [1]．DGAでは単一母集団でのGAと比較して高品質の解が得られるが [2]，その理由についてはあまり解明されていない．本論文では変数間の依存関係と局所解の有無に着目した異なるタイプの問題にDGAを適用することにより，DGAの解探索メカニズムを考察する．

2 分散GA

分散GAでは，母集団を複数のサブ母集団（subpopulation）に分割し，各サブ母集団毎に遺伝的操作を行う．このサブ母集団をプロセッサに割当てることによって並列処理を行う．また，一定世代毎に異なるサブ母集団間に移住（migration）と呼ばれる個体の交換を行う．移住に関して，移住間隔と移住率というパラメータが必要となる．移住間隔は移住を行う世代間隔であり，移住率はサブ母集団の個体数に対する移住個体の割合である．本論文で用いた移住の概念を図1に示す．図のように，移住元と移住先のサブ母集団は1対1の関係である．また，移住先のサブ母集団および移住個体は移住のたびにランダムに選ぶ．

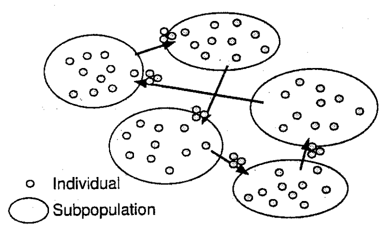

図 1: 移住

3 DGAの有効性

DGAと単一母集団でのGAの性能をOne Max関数と2種類のテスト関数を用いて比較した．

3.1 対象問題と各種設定

対象問題としてOne Max関数と2つのテスト関数を用いた．One Max関数はビット列のなかにある1の数を返す関数であり，nビットの問題での最適値はnとなる．本実験では染色体長を128と

したので最適値は 128 である．変数間に依存関係はなく局所解も存在しない．

Rastrigin 関数は式 (1) で表され，$x_i = 0$ で最小値 0 をとり，その周辺に格子状に複数の準最適解をもつ多峰性の関数である．変数間に依存関係はない．ここでは 1 変数を 10 ビットで表現し，10 次元とした．染色体長は 100 ビットとなる．

$$F_{\mathrm{Ra}} = 10n + \sum_{i=1}^{n} \left(x_i^2 - 10\cos(2\pi x_i)\right) \qquad (1)$$
$$-5.12 < x_i \leq 5.12, n = 10$$

Rosenbrock 関数は式 (2) で表され，最小値 0 の単峰性の関数であり，変数間に強い依存関係をもつ．ここでは 1 変数を 12 ビットで表現し，10 次元とした．染色体長は 120 ビットである．

$$F_{\mathrm{Ro}} = \sum_{i=2}^{n} [100(x_1^2 - x_i)^2 + (x_i - 1)^2] \qquad (2)$$
$$-2.048 \leq x_i \leq 2.048, n = 10$$

Rastrigin 関数および Rosenbrock 関数ではコード化にグレイコードを用いた．選択はルーレット選択を用い，スケーリングウィンドウサイズは 5 とした．また，エリート保存を行い，交叉は一点交叉とした．交叉率は 0.6，突然変異率は 1/L（L は染色体長）とした．

これらの問題に対し，個体数を変化させ単一母集団の GA と DGA(分割数 4，8 および 16）の性能を比較した．なお，結果は 12 試行での最高値と最低値を除いた 10 試行での平均をとった．

3.2 実験結果

3.2.1 One Max 関数

図 2 は縦軸に最適解が得られた世代数，横軸に個体数をとったものである．図でサブ母集団数 1 は単一母集団の GA を示し，サブ母集団数 4，8 および 16 の DGA と比較している．この図より個体数に関係なく DGA は単一母集団の GA に比較して早い世代数で最適解を得ることができる．図 3 は縦軸に 100 世代目での最高適合度，横軸に個体数をとったものである．この図より個体数によらず DGA は単一母集団の GA に比較して適合度が高い解を得ることができる．

また図 2 において，分割数が 16 で個体数が 160 の DGA では最適解が得られた世代数が他の DGA の結果と比較して悪くなっている．これは，サブ母集団の個体数が 10 となるり，サブ母集団内で十分な探索が行われないためであると考えられる．したがって，サブ母集団の個体数が少なすぎる場合は DGA でも良好な解を得ることができないといえる．

しかしながら，One Max 関数では DGA はいずれの個体数においても単一母集団の GA に比較して早い世代数で最適解を得ることができ，また高品質の解を得ることができるといえる．

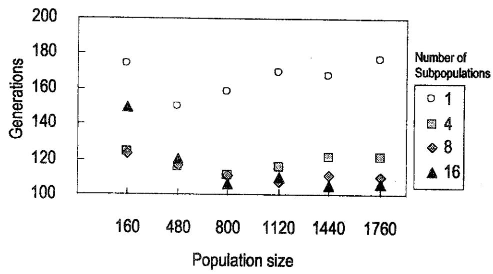

図 2: 最適解が得られた世代数の比較（One Max 関数）

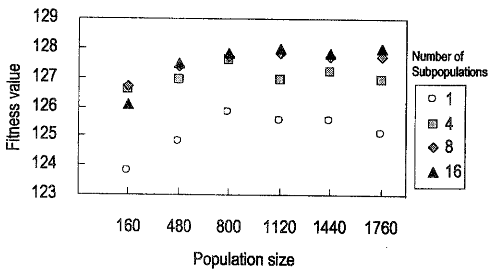

図 3: 100 世代目の最高適合度の比較（One Max 関数）

3.2.2 Rastrigin 関数

図 4 は縦軸に 1000 世代目での最高適合度，横軸に個体数をとったものである．この図より個体数かかわらず DGA は単一母集団の GA に比較して適合度が高い解を得ることができる．

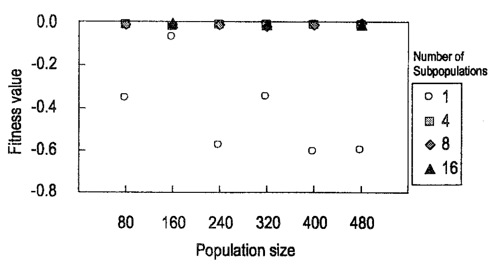

図 4: 最適解が得られた世代数の比較（Rastrigin 関数）

3.2.3 Rosenbrock 関数

図 5 は縦軸に 1000 世代目での最高適合度，横軸に個体数をとったものである．この図より DGA は単一母集団の GA に比較して常に高品質な解を得ることができるとはいえない．

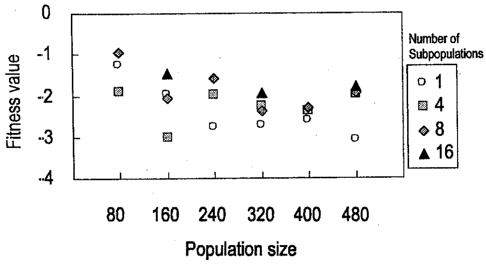

図 5: 最適解が得られた世代数の比較（Rosenbrock 関数）

3.3 DGA の有効性

実験結果より DGA が単一母集団の GA に比較して高品質な解を得ることができるのは One Max 関数および Rastrigin 関数であり，Rosenbrock 関数では単一母集団の GA に比較して DGA が有効であるとはいえなかった．したがって，変数間に依存関係のない問題に対しては DGA が有効であるといえるが，変数間に依存関係のある問題では DGA は有効であるとはいえない．

4 DGA の解探索メカニズム

変数間に依存関係のない問題に対して DGA が有効であることから，DGA はビルディングブロックが結合することよって最適解が生成される問題に対して有効であるのではないかと考えられる．そこで，DGA において高品質な解が得られる一要因として，サブ母集団ごとに生成されたビルディングブロックが移住によって他のサブ母集団のビルディングブロックと結合し成長していくと考えた．このことを変数間に依存関係のない問題を用いて検証した．最適解のビット列を変数単位でみたものをビルディングブロックと考え，このビルディングブロックがサブ母集団中に占める割合の変化を調べた．

4.1 実験の概要

対象問題として，前述の Rastrigin 関数を 4 次元で用いた．Rastrigin 関数は全ての変数が 0 のとき最適解 0 をとるので，$x_i = 0$ $(0 \leq i \leq 3)$ となるビット列をビルディングブロックとみなした．母集団の個体数を 560，サブ母集団数を 4，移住間隔を 5，移住率を 0.3 とした．移住の効果をより見やすくするために突然変異は行わない．終了条件は母集団が 1 つの解に収束したときとした．また，その他のパラメータ設定は 3 節の実験と同様とした．単一母集団での GA，移住を行わない DGA および移住を行う DGA の 3 通りの GA において，ビルディングブロックが母集団（DGA ではサブ母集団）中に占める割合の変化を調べた．

4.2 分散の効果

まず，母集団を分割することの効果をみるために，単一母集団での GA と移住を行わない DGA の比較を行う．図 6 は単一母集団での GA で，ある試行においてビルディングブロックが母集団内に占める割合の変化を示し，縦軸にその割合を，横軸に世代数をとったものである．x_0〜x_3 は 4 つの変数に対する 4 つのビルディングブロックを表している．図 7 は移住を行わない DGA での同様の結果であり，SP_0〜SP_3 はサブ母集団 0〜3 を示している．

図 6 より，単一母集団の GA では x_2 および x_3 が最適解のビット列と一致する局所解に収束したことが分かる．一方，図 7 より，移住を行わない DGA ではサブ母集団ごとにみると 0〜2 つのビルディングブロックを持つ局所解に収束しており，母集団全体でみると 3 つのビルディングブロック x_0, x_1 および x_2 が得られていた．これより，母集団全体でみると，1 つの母集団よりも複数のサブ母集団で探索を行う方が多くのビルディングブロックを得ることができるといえる．しかしながら，移住を行わない DGA ではサブ母集団ごとに収束した解は最高でも 2 つのビルディングブロックをもつ局所解であり，得られる解としては単一母集団 GA に比較して高品質になったとはいえない．

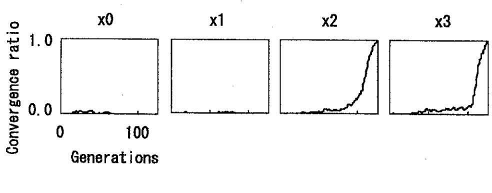

図 6: 単一母集団 GA での解探索過程

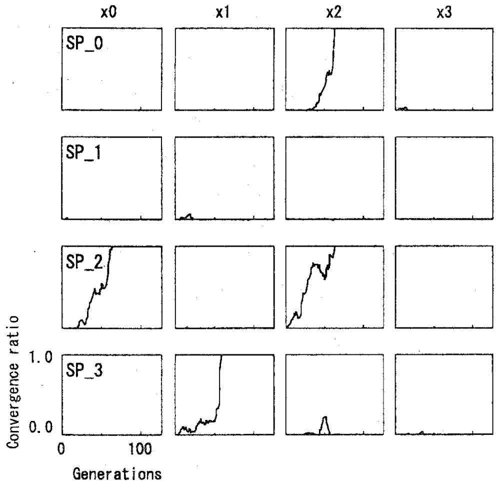

図 7: DGA・移住なしでの解探索過程

4.3 移住の効果

次に，移住の効果をみるために，移住を行わない DGA と移住を行う DGA の比較を行う．図 8 は移住を行う DGA での図 7 と同様な結果である．図 8 より，移住を行う DGA では 4 つのサブ母集団全てで 4 つの全てのビルディングブロックをもつ最適解に収束していることが分かる．また，図 7 より移住を行わない DGA では，ビルディングブロックの割合の遷移はサブ母集団ごとに異なっており，サブ母集団 2 の x_0 と x_2 のように探索の初期の段階から割合が増加しているものや，サブ母集団 3 の x_2 のように一度割合が増加した後に減少して 0 になるものがあった．これに対して，図 8 より移住を行う DGA ではグラフの形状は 4 つのサブ母集団すべてで同様であり，ビルディングブロックの割合は約 60 世代目以前では約 0.2 以下に留まっており，約 60 世代目以降に急速に増加している．探索の初期の段階においてビルディングブロックの割合が増加しないのは，これは移住によって個体情報が交換されることにより，探索の初期段階での局所解への収束が回避されるためである．また，約 60 世代目以降にビルディングブロックの割合が急速に増加するのは，それ以前に異なるサブ母集団間で探索された異なるビルディングブロックが移住と交叉によって結合されたためである．

以上より DGA では，分割したサブ母集団ごとに異なる局所解を探索し，移住と交叉によってそれらの局所解を結合することによって大域的な最適解が形成されていくといえる．

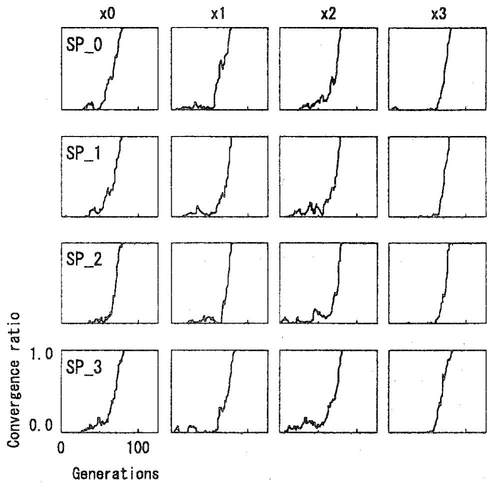

図 8: DGA・移住ありでの解探索過程

5 結論

変数間の依存関係と局所解の有無に着目した異なるタイプの問題で DGA と単一母集団の GA の性能の比較を行った．DGA は変数間に依存関係のない問題に対して非常に有効であることが明らかになった．また，DGA ではサブ母集団毎に生成されたビルディングブロックが移住と交叉によって他のサブ母集団のビルディングブロックと結合することで最適解が求められることを明らかにした．

参考文献

[1] Reiko Tanese.: Distributed genetic algorithms. *Proc. 3rd International Conference on Genetic Algorithms*, pp.434–439, 1989.

[2] 三木光範，畠中一幸：並列分散 GA による計算時間の短縮と解の高品質化，JSME 最適化シンポジウム講演論文集, 1998.